

**Kazimierz Koliński**  
**Wojskowa Akademia Techniczna**

**KONWERSJA ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH  
PRZEZ KATALIZATOR  
PODCZAS ZIMNEGO URUCHAMIANIA  
I ROZGRZEWANIA SILNIKA O ZS**

**STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki badań katalitycznego ograniczenia emisji tlenku węgla i węglowodorów podczas rozruchu silnika o ZS. Badania przeprowadzono na stanowisku w komorze klimatycznej w obniżonych temperaturach otoczenia:  $-7$ ,  $-15$  i  $-20^{\circ}\text{C}$ . Zastosowano w nich podgrzewany trójfunkcyjny reaktor katalityczny platynowo-palladowy z monolitem metalowym. Metodyka prowadzonych badań polegała na pomiarze stężenia toksycznych składników spalin przed i za reaktorem katalitycznym przy jednoczesnym pomiarze parametrów rozruchu i temperatur w wybranych miejscach silnika oraz reaktora katalitycznego. Emisję tlenku węgla i węglowodorów w okresie rozruchu ograniczono poprzez wstępne podgrzanie reaktora katalitycznego przed rozruchem za pomocą grzejnika elektrycznego. Przy podgrzaniu powierzchni reaktora do  $400^{\circ}\text{C}$  uzyskuje się w temperaturze otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$  średnio obniżenie stężenia CO o 80–90%, natomiast węglowodorów o około 70%.

Słowa kluczowe:

rozruch silnika, reaktor katalityczny.

**WSTĘP**

Rosnące wymagania w zakresie ograniczenia emisji szkodliwych składników spalin od pewnego czasu zaczęły również obejmować okresy pracy silnika o nieustabilizowanym jego stanie termicznym, zwłaszcza rozruch i nagrzewanie w niskiej temperaturze otoczenia. Powodem tego jest stosunkowo duża emisja szkodliwych składników spalin powstających w tym okresie pracy silnika. Istniejące możliwości

techniczne spełnienia wymagań przez silniki w warunkach normalnej pracy powodują, że zwiększa się coraz bardziej udział w całkowitej emisji tych składników w okresach pracy silnika o niestabilizowanym stanie termicznym.

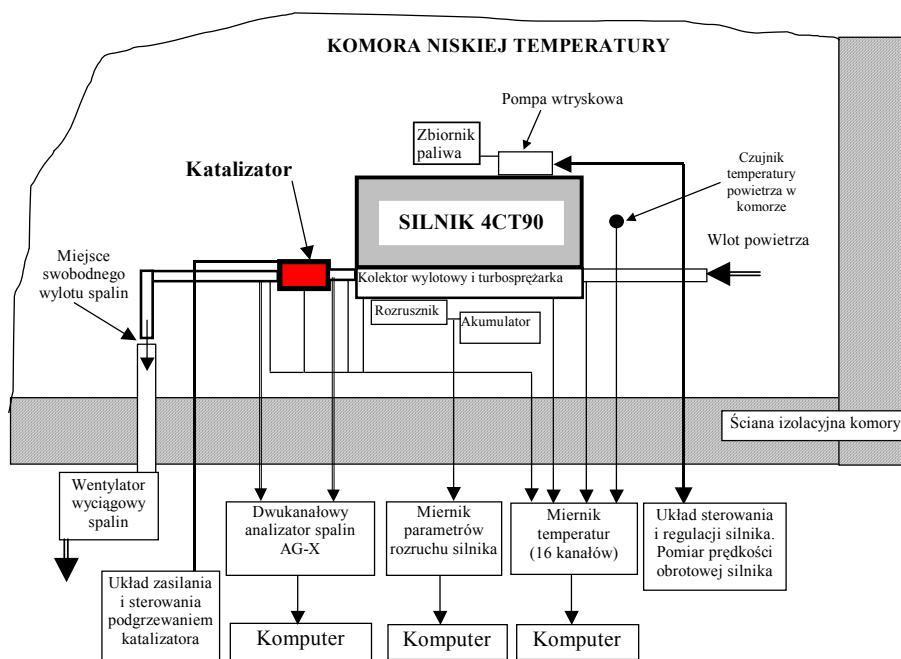
Literatura dotycząca problemów tworzenia się toksycznych składników spalin, metod badania tej emisji oraz sposobów zmniejszenia emisji jest bardzo obszerna. Zagadnieniami toksyczności i składu emitowanych przez silniki spalin zajmuje się wiele ośrodków badawczych, a wyniki badań są publikowane w dostępnej literaturze [1, 2, 3]. Jednak uwzględniając wymagania obowiązujących przepisów, ogromna większość tych opracowań dotyczy pracy silników w temperaturze eksploatacyjnej, a więc w warunkach ustabilizowanego ich stanu termicznego lub uruchamianych w dodatniej temperaturze otoczenia. Standardem w obecnych samochodach są urządzenia do zmniejszania tej emisji, takie jak układ recyrkulacji spalin, niezbędny do zmniejszania udziałów tlenków azotu w spalinach oraz reaktory katalityczne, w których zachodzi utlenianie produktów niezupełnego spalania (CO, HC) i redukcja ( $\text{NO}_x$ ). Problemami tymi Zakład Silników i Inżynierii Eksploatacji Pojazdów Mechanicznych WAT zajmuje się od ponad trzydziestu lat. W obecnie prowadzonych pracach coraz więcej uwagi poświęca się badaniom składu spalin z silników podczas ich uruchamiania i nagrzewania w niskiej, ujemnej temperaturze otoczenia. Są to warunki sprzyjające bardzo dużej emisji produktów niezupełnego spalania paliwa, to znaczy składników gazowych i cząstek stałych.

Ostatnio obserwuje się wzrost zainteresowania tą problematyką przez niektóre ośrodki krajowe i zagraniczne. Państwa skandynawskie są nią szczególnie zainteresowane ze względu na panujące w nich trudne warunki klimatyczne. Mają one ponadto bardzo dobre warunki naturalne do prowadzenia takich badań. Forsują tę problematykę na forum międzynarodowym i należy przypuszczać, że badania emisji związków toksycznych w bardzo niskiej temperaturze otoczenia w niedługim czasie będą obowiązkowe. Istotnym ograniczeniem w rozpowszechnianiu takich badań jest konieczność posiadania komory termoklimatycznej, umożliwiającej uzyskanie niskiej temperatury nie tylko podczas rozruchu, ale także podczas pracy przez dłuższy czas niezbędny do zrealizowania pełnego jezdnego cyklu miejskiego.

Problemy rozruchu silników w niskiej temperaturze powinny być ściśle powiązane z badaniem toksyczności spalin i rozwojem silników spalinowych. Stąd też podjęto badania spalin silnika o zapłonie samoczynnym typu 4CT90 w zakresie emisji szkodliwych składników jako procesu towarzyszącego rozruchowi w niskiej temperaturze otoczenia. W trakcie badań określono wpływ temperatury otoczenia (i początkowej temperatury silnika) oraz podgrzewania reaktora katalitycznego na ograniczenie emisji w fazie rozruchu i rozgrzewania silnika.

## STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Badania eksperymentalne w obniżonych temperaturach otoczenia przeprowadzono na stanowisku w komorze klimatycznej znajdującej się w Stacji Badań Klimatycznych i Silników Spalinowych Laboratorium Pojazdów Mechanicznych WAT (rys. 1.). Układ ziębniczy komory ma zdolność do osiągnięcia temperatury powietrza do  $-45^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 1. Stanowisko badawcze w komorze klimatycznej

Źródło: opracownia własne.

Obiektem badań był turbodoładowany silnik o zapłonie samoczynnym 4CT90-1 produkcji Wytwórni Silników Wysokoprężnych „Andoria” S.A. Jest to czterocylindrowy silnik z pośrednim wtryskiem paliwa do komory wirowej (RICARDO COMET VB) wykonanej w głowicy silnika. Podstawowe dane techniczne silnika są następujące:

- pojemność skokowa  $2,417 \text{ dm}^3$ ;
- stopień sprężania 21,1;
- moc znamionowa 66 kW przy 4100 obr/min;
- pompa wtryskowa rzędowa, tłoczkowa z własnym napędem wyposażona w korektor dawkowania oraz w pneumatyczny korektor dawkowania;

- automatyczny, mechaniczny przestawiacz kąta początku wtrysku;
- turbosprężarka promieniowa z zaworem upustu spalin, ciśnienie doładowania 60–80 kPa w zakresie prędkości obrotowej 2000–4100 obr/min.

Silnik ten spełniał wymagania EURO II i nie dysponował żadnym układem zmniejszającym emisję podczas zimnego rozruchu i w fazie nagrzewania.

Ze względu na zakres badań opracowano i wykonano specjalną modułową konstrukcję układu wydechowego, umożliwiającą odpowiednie konfigurowanie położenia katalizatora w układzie. Zasadniczą część układu wydechowego składała się z katalizatora, dwóch modułów pomiarowych oraz dwóch modułów dystansowych. Poszczególne moduły zakończone były kołnierzami umożliwiającymi łatwe ich łączenie. W modułach pomiarowych zamontowano sondy do poboru spalin oraz termopary do pomiaru temperatury spalin i powierzchni roboczych monolitów katalizatora. Zastosowanie modułów pomiarowych umożliwiło wymianę katalizatorów w trakcie pomiarów bez konieczności demontażu układów pomiarowych. Do badań zastosowano zmodernizowany katalizator umożliwiający wstępne ogrzewanie monolitów reaktora przed i w czasie rozruchu silnika za pomocą grzejników elektrycznych.

Stężenie wybranych gazowych składników spalin mierzono za pomocą dwukanałowego analizatora spalin typu AG-X (z dwoma zintegrowanymi modułami detekcyjnymi typu IR i czujnikami tlenu) opracowanego specjalnie do realizacji projektu badawczego. Analizator umożliwiał pomiar stężenia poszczególnych składników przed i za reaktorem katalitycznym, co pozwalało na określenie stopnia konwersji toksycznych składników spalin w reaktorze. Spaliny do analizatora doprowadzane były z sond poboru spalin zamontowanych w modułach pomiarowych układu wydechowego. Pracą analizatora sterował komputer. Komputerowy zestaw analizatora umożliwiał cyfrowy zapis wyników pomiarów z poszczególnych cykli w plikach tekstowych, które zawierały następujące wielkości:

- datę i czas pomiaru;
- stężenie tlenku węgla [ppm];
- stężenie dwutlenku węgla [ppm];
- stężenie węglowodorów [ppm];
- stężenie tlenu [%].

Nie rejestrowano stężenia tlenków azotu, ponieważ ich stężenie w spalinach w warunkach zimnego rozruchu silnika jest na bardzo niskim poziomie [3].

W przeprowadzonych badaniach pomiary stężenia poszczególnych składników spalin prowadzono w sposób ciągły, rejestrując mierzone wartości stężeń w odstępach co 0,68 s. Stan termiczny układów silnika określano za pomocą 15 termopar

typu „K”. Termopary podłączono do komputerowego systemu akwizycji danych, który pozwalał na ciągły pomiar temperatur: otoczenia, spalin, reaktora katalitycznego, płynu chłodzącego, tulei cylindrowej, oleju smarnego i powietrza w układzie wlotowym. Temperaturę spalin mierzono w kolektorze wylotowym za turbiną we wlocie i wylocie reaktora katalitycznego. Temperaturę reaktora katalitycznego mierzono:

- na wejściowej powierzchni pierwszego monolitu metalowego;
- na wyjściowej powierzchni drugiego monolitu metalowego;
- na obudowie monolitu metalowego.

System pomiaru temperatury stwarzał możliwość jej pomiaru jednocześnie we wszystkich punktach pomiarowych i umożliwiał ciągłą rejestrację wyników w postaci zapisu cyfrowego na twardym dysku komputera z możliwością podglądu mierzonych wielkości.

Proces przebiegu rozruchu silnika rejestrowano za pomocą specjalnego komputerowego zestawu pomiarowego umożliwiającego ciągły pomiar natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik i napięcia w instalacji elektrycznej silnika.

Metodyka badań podczas rozruchu silnika i fazy nagrzewania silnika polegała na pomiarze stężenia składników spalin wpływających i wypływających z reaktora katalitycznego, wraz z równoczesnym pomiarem parametrów rozruchu i temperatur w wybranych układach silnika. Zapis danych z torów pomiarowych realizowano w czasie rzeczywistym (w postaci plików tekstowych) na trzech oddzielnych zestawach komputerowych.

Badania wpływu podgrzewania reaktora katalitycznego na emisję toksycznych składników spalin miały charakter porównawczy. Realizowano je w ściśle określonych cyklach pomiarowych. Cykl pomiarowy obejmował:

- przygotowanie silnika i reaktora katalitycznego do badań;
- schładzanie silnika wraz z akumulatorem i paliwem do temperatury próby;
- stabilizację termiczną w temperaturze próby przez pięć godzin;
- podgrzewanie reaktora katalitycznego do zadanej temperatury powierzchni monolitu;
- rozruch silnika (włączenie świec żarowych na 25 s przed rozruchem i w czasie rozruchu);
- bieg jałowy silnika według ustawień fabrycznych przez pięć minut (lub dłużej);
- pracę silnika przez dziesięć minut bez obciążenia ze stałą, podwyższoną do 2000 obr/min prędkością obrotową;
- bieg jałowy silnika według ustawień fabrycznych przez jedną minutę;
- wyłączenie silnika.

Reaktor katalityczny podgrzewano wstępnie przed rozruchem do określonej temperatury powierzchni wkładu oraz w trakcie rozgrzewania silnika. Podczas badań w niskiej temperaturze układ wylotowy i katalizator były izolowane termicznie za pomocą warstwy wełny mineralnej o grubości 25 mm jednostronnie pokrytej folią aluminiową. Do podgrzewania reaktorów wykorzystano nagrzewnice elektryczne z termowentylatorem (z nadmuchem powietrza z zewnątrz) oraz nagrzewnicę elektryczną umieszczoną przed pierwszym wkładem monolitycznym katalizatora. Nagrzewnice elektryczne zasilano z zewnętrznej sieci energetycznej o napięciu 230 V i częstotliwości 50 Hz. Taki sposób podgrzewania reaktorów pozwalał w warunkach laboratoryjnych na zmianę mocy cieplnej nagrzewnic za pomocą autotransformatora.

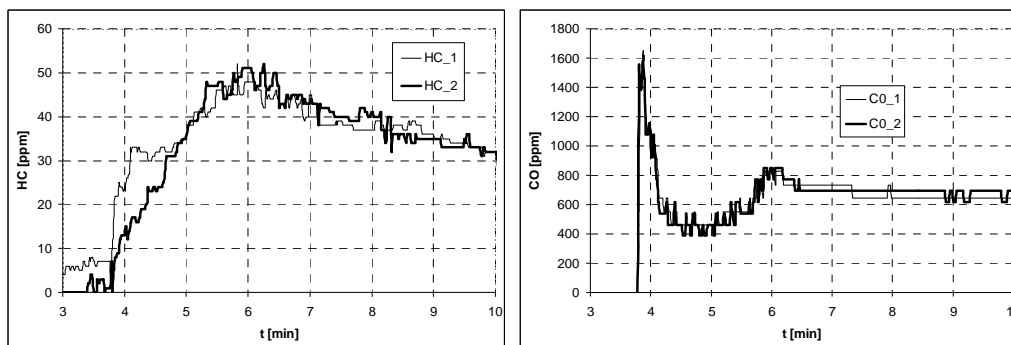
## WYNIKI BADAŃ

Przedstawiane wyniki badań stanowią tylko niewielką część przykładowych wyników z szerokiego programu badawczego obejmującego swym zakresem między innymi badania na stanowisku w komorze klimatycznej. Z uwagi na ograniczone ramy publikacji nie są prezentowane wyniki z wcześniej przeprowadzonych badań na hamowni silnikowej (w dodatniej temperaturze), gdzie sprawdzano działanie prototypów badanych reaktorów w stanach ustalonych (charakterystyki prędkościowe i obciążeniowe) oraz w stanach nieustalonych.

Badania wykonano w komorze termoklimatycznej dla trzech wartości temperatur otoczenia:  $-7$ ,  $-15$  i  $-20^{\circ}\text{C}$  dla silnika w stanie zimnym. W badaniach zastosowano reaktor katalityczny platynowo-palladowy z dwoma monolitami metalowymi ustawionymi szeregowo w jednej obudowie. Oba monolity reaktora miały taką samą konstrukcję (liczba kanalików: 500 cpsi, ładunek:  $1\text{g}/\text{dm}^3$  o stosunku Pt:Pd/2:1). Dla uproszczenia i przejrzystości publikacji oznaczenie tego reaktora przyjęto jako **Pt/Pd**.

Na rysunku 2. przedstawiono wyniki pomiarów stężeń CO i HC przed i za reaktorem katalitycznym podczas zimnego rozruchu i pracy na biegu jałowym. W legendach wykresów indeksem **\_1** oznaczono wartości stężeń przed reaktorem, natomiast indeksem **\_2** — wartości stężeń za reaktorem. Czas rozruchu silnika trwał 8 sekund. Na wykresach charakterystyczny jest wzrost emisji tlenku węgla i węglowodorów w czasie uruchamiania silnika i stopniowa jej stabilizacja po upływie około trzech minut przy pracy na biegu jałowym z prędkością obrotową około 830 obr/min. Widoczny jest brak działania reaktora katalitycznego. Stężenia tlenku węgla i węglowodorów przed i za reaktorem katalitycznym są podobne. Przyczyną braku aktywności reaktora była zbyt niska temperatura spalin, dochodząca zaledwie do  $80^{\circ}\text{C}$

po uruchomieniu silnika. Reakcje utleniania węglowodorów i tlenku węgla zachodzą dopiero, gdy temperatura powierzchni monolitu reaktora jest wyższa niż  $250^{\circ}\text{C}$ . Do momentu osiągnięcia tej temperatury substancje szkodliwe wytwarzane przez silnik nie ulegają konwersji i przyczyniają się do zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Maksymalny stopień konwersji substancji szkodliwych osiągnąć jest po przekroczeniu temperatury  $300^{\circ}\text{C}$ .



Rys. 2. Stężenia węglowodorów i tlenku węgla przed i za reaktorem katalitycznym podczas rozruchu i nagrzewania się silnika 4CT90 na biegu jałowym w temperaturze otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$  bez podgrzewania reaktora

Źródło: opracowanie własne.

Reaktory katalityczne zawierające pallad były stosowane w latach siedemdziesiątych jako katalizatory utleniające. Potem stosowano go razem z platyną w reaktorach trójfunkcyjnych. Pallad wykazuje dobre właściwości w utlenianiu węglowodorów w spalinach o charakterze utleniającym (w spalinach silników o zapłonie samoczynnym), co jest istotne w przypadku ograniczenia emisji przy rozruchu zimnego silnika. Właśnie dlatego katalizatory z dużą zawartością palladu są często proponowanym rozwiązaniem dla obniżenia emisji podczas rozruchu i nagrzewania zimnego silnika. Temperatury początku pracy reaktorów zawierających pallad są niższe o około  $50^{\circ}\text{C}$  niż reaktorów zawierających samą platynę.

W temperaturze otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$  w kolejnej próbie rozruch silnika trwał 10 sekund. Przebieg tego rozruchu przedstawiono na rysunku 3. w postaci wykresu natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik. Okres trwania rozruchu oznaczono literami A i B, gdzie przez A oznaczono czas włączenia rozrusznika, a przez B — czas wyłączenia rozrusznika. Oznaczenia te naniesiono na wykresy natężeń składników spalin dla identyfikacji okresu uruchamiania silnika. Rozruch silnika był stosunkowo łatwy. Zapłony w cylindrach silnika wystąpiły już po pierwszej sekundzie pracy rozrusznika i w dalszej fazie wspomagały rozrusznik (zmniejszenie natężenia prądu). W okresie

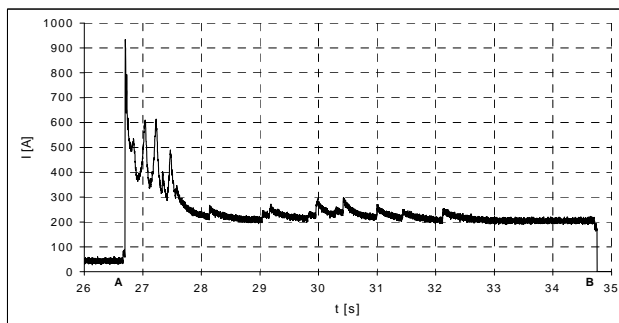
rozruchu charakterystyczny jest duży wzrost stężenia tlenków węgla i węglowodorów w spalinach przed katalizatorem w czasie rozruchu silnika. Obecność w spalinach przed reaktorem tlenków węgla i węglowodorów przed rozruchem silnika (przed punktem A) jest wynikiem zachodzących procesów spalania osadów w wyniku podgrzewania reaktora katalitycznego. Po włączeniu rozrusznika wyraźnie widoczne są zmiany natężeń wszystkich mierzonych składników spalin.

Jedną z metod uaktywnienia reaktora jest jego podgrzanie do wymaganej temperatury pracy przed rozruchem silnika za pomocą grzejników elektrycznych. Na rysunku 4. przedstawiono wyniki pomiarów stężeń HC i CO przed i za reaktorem katalitycznym platynowo-palladowym podgrzewanym. Reaktor został podgrzany przed rozruchem do temperatury około 400°C, mierzonej na powierzchni wlotowej pierwszego monolitu. Podgrzewanie wykonano za pomocą nagrzewnicy z termowentylatorem o mocy 1500 W. Po uruchomieniu silnika reaktor podgrzewano dalej w czasie pracy na biegu jałowym grzałką elektryczną także o mocy 1500 W.

Przy pracy na biegu jałowym poziom emisji tych składników obniżył się i ustabilizował praktycznie na stałym poziomie. Wyraźne obniżenie stężeń tlenu węgla i węglowodorów za reaktorem katalitycznym świadczy o zachodzących w nim reakcjach utleniania tych składników spalin. O przebiegu reakcji utleniania świadczy wyższe stężenie dwutlenku węgla za reaktorem niż przed nim. Przed reaktorem stężenie wynosiło około 40000 ppm, natomiast za reaktorem 65000 ppm. Stężenie dwutlenku węgla było najwyższe podczas rozruchu silnika. W miarę nagrzewania się silnika ilość dwutlenku malała. Szczególnie wyraźnie widoczna jest duża redukcja tlenu węgla w spalinach z poziomu około 1600 ppm do 300 ppm. Po uruchomieniu silnika wystąpiła redukcja węglowodorów z poziomu 20 do 5 ppm.

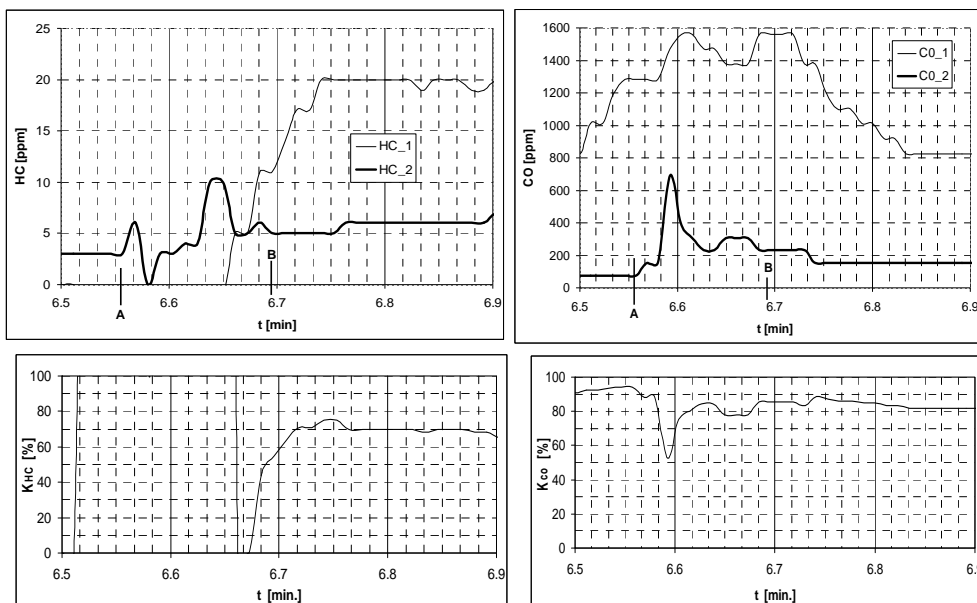
W miarę obniżania temperatury otoczenia wydłużał się czas rozruchu silnika. W temperaturze otoczenia -15°C uruchomienie silnika nastąpiło po 22 sekundach, natomiast w temperaturze -20°C dopiero po 84 sekundach. Charakter tych rozruchów przedstawiono na rysunkach 5. i 7. W temperaturze -15°C rozruch silnika był trudniejszy niż w -7°C. Przez większą jego część występowały cyklicznie w cylindrach silnika samozapłony, które dopiero pod koniec pozwoliły na podjęcie przez silnik samodzielnej pracy. Rozruch zrealizowano przy ciągłej pracy rozrusznika i przy włączonych świecach żarowych. Efektem takiego procesu rozruchu była duża emisja węglowodorów (do 60 ppm) i tlenków węgla (do 8000 ppm), co przedstawiono na rysunku 6. Różnice stężeń poszczególnych składników przed i za katalizatorem świadczą o jego aktywności. Stopień konwersji HC i CO jest zmienny w czasie rozruchu i zależy od jego przebiegu. Najwyższy jest pomiędzy 34 a 40 sekundą przebiegu rozruchu (rys. 5.), gdzie występowały regularne zapłony w cylindrach.





Rys. 3. Przebieg natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$

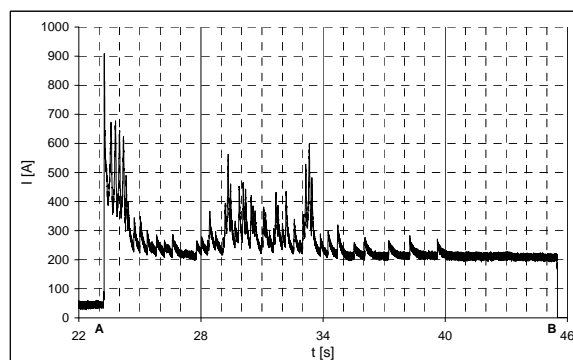
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Stężenie węglowodorów HC, tlenku węgla CO przed i za reaktorem katalitycznym Pt/Pd (podgrzany wstępnie do  $400^{\circ}\text{C}$ ) oraz stopnie ich konwersji ( $K_{\text{HC}}$  i  $K_{\text{CO}}$ ) podczas rozruchu i nagrzewania się silnika 4CT90 w temperaturze otoczenia  $-7^{\circ}\text{C}$

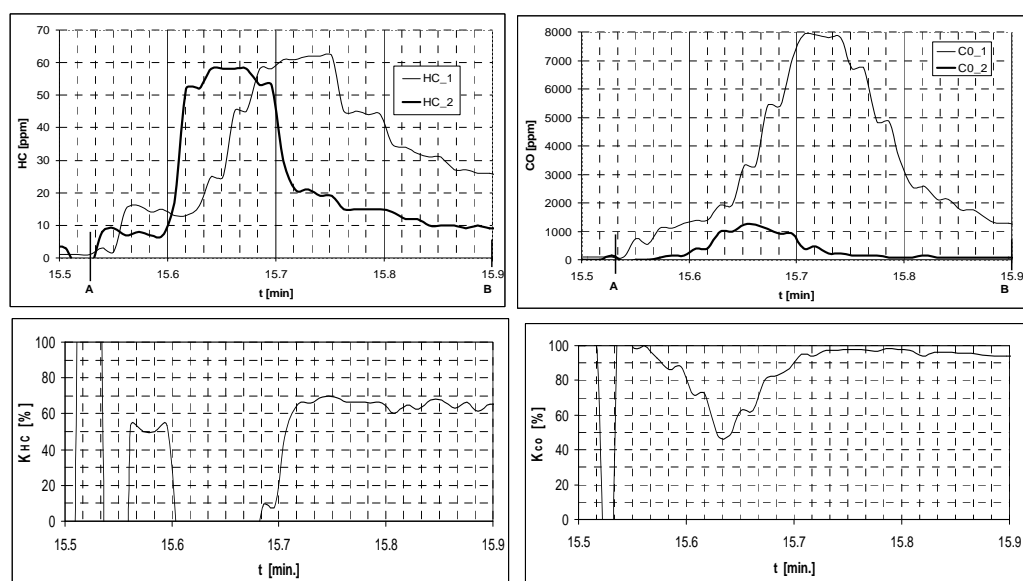
Źródło: opracowanie własne.

Natężenie CO zmniejszyło się z 8000 do 100 ppm, natomiast HC z 60 do 20 ppm. Charakterystyczny jest wzrost stężenia HC za reaktorem w pierwszej fazie rozruchu silnika. Powodem tego może być odparowanie w reaktorze części kropli niespalonego oleju napędowego. Podobne zjawisko wystąpiło we wszystkich próbach rozruchowych.



Rys. 5. Przebieg natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze otoczenia  $-15^{\circ}\text{C}$

Źródło: opracowanie własne.

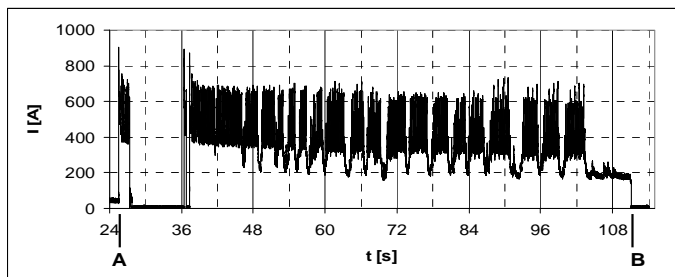


Rys. 6. Stężenie węglowodorów HC, tlenku węgla CO przed i za reaktorem katalitycznym Pt/Pd (podgrzanym wstępnie do  $400^{\circ}\text{C}$ ) oraz stopnie ich konwersji ( $K_{\text{HC}}$  i  $K_{\text{CO}}$ ) podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze otoczenia  $-15^{\circ}\text{C}$

Źródło: opracowanie własne.

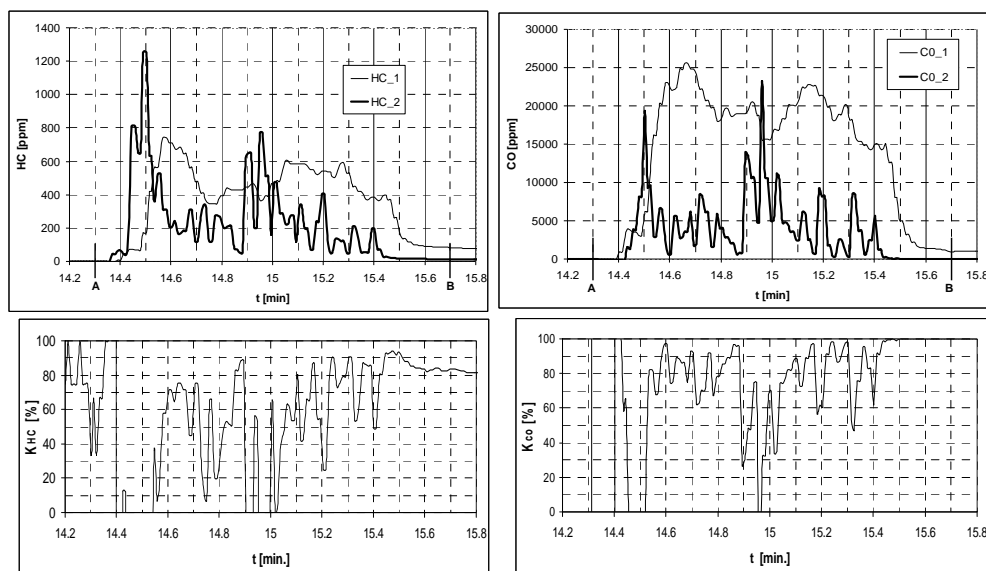
W temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  rozruch silnika był już bardzo trudny i długotrwały. Zarejestrowane parametry rozruchu (czas i prędkość obrotowa wału korbowego) wskazywały na ograniczone możliwości jego uruchomienia w temperaturze otoczenia poniżej  $-20^{\circ}\text{C}$ . Po dwusekundowej pracy rozrusznika wyłączono go ze względu

na zbyt niską prędkość obrotową wału korbowego. Jednak po ośmiu sekundach przerwy zdecydowano się na kontynuowanie procesu rozruchu aż do podjęcia przez silnik samodzielnej pracy. Przez większą jego część występowały pojedyncze, nieregularne samozapłony w cylindrach silnika, które wspomagały pracę rozrusznika.



Rys. 7. Przebieg natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze otoczenia  $-20^{\circ}\text{C}$

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 8. Stężenie węglowodorów HC, tlenku węgla CO przed i za reaktorem katalitycznym Pt/Pd (podgrzany wstępnie do  $400^{\circ}\text{C}$ ) oraz stopnie ich konwersji ( $K_{\text{HC}}$  i  $K_{\text{CO}}$ ) podczas rozruchu silnika 4CT90 w temperaturze otoczenia  $-20^{\circ}\text{C}$

Źródło: opracowanie własne.

Efektom bardzo trudnego procesu rozruchu była duża emisja tlenków węgla (do 25000 ppm) i węglowodorów (do 700 ppm), co przedstawiono na rysunku 8. Na wykresach wyraźnie widoczne jest obniżenie się stężeń tlenku węgla i węglowodorów za reaktorem katalitycznym, co świadczy o zachodzących reakcjach utleniania. Początek pracy reaktora widoczny jest po około 6 sekundach. Wyraźnie widoczny jest spadek stężenia HC i CO za reaktorem. Zarejestrowano znaczny spadek stężenia tlenu i wzrost stężenia dwutlenku węgla za reaktorem świadczący o bardzo dużej jego aktywności. Przebiegi wykresów stężeń HC i CO wykazują na bardzo dużą pulsację ich wartości za reaktorem. Była ona większa niż przed reaktorem. Aktywność reaktora determinowana była przebiegiem procesu rozruchu, co widać po porównaniu wykresów przedstawionych na rysunkach. Częstsze występowanie zapłonów powodowało wzrost prędkości obrotowej i zwiększenie pulsacji ciśnienia, co chwilowo pogarszało konwersję HC i CO. Przy braku zapłonów w cylindrach silnika konwersja HC i CO wzrastała. Miało to szczególnie wpływ na pracę reaktora.

O intensywności przebiegu reakcji utleniania w katalizatorze podczas rozruchu świadczy zarejestrowany znaczny wzrost stężenia dwutlenku węgla. Przed reaktorem stężenie wynosiło średnio 40000 ppm, natomiast za reaktorem 120000 ppm, czyli było trzykrotnie wyższe. Analogicznie zarejestrowane stężenie tlenu spadło średnio z 15% do 5%, czyli również około trzykrotnie. Stąd widać, że znaczna ilość składników niezupełnego spalania paliwa podczas długotrwałego rozruchu w niskiej temperaturze otoczenia została spalona (utleniona) w podgrzewanym reaktorze katalitycznym.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania wpływu podgrzewania reaktora katalitycznego na zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin podczas zimnego rozruchu 4CT90 w niskiej temperaturze otoczenia pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Okres zimnego rozruchu silnika charakteryzuje się stosunkowo wysoką emisją tlenku węgla i węglowodorów. Wielkość tej emisji wzrasta wraz z obniżaniem temperatury otoczenia. Wydłuża się czas uruchamiania silnika.
2. W okresie rozruchu i w fazie nagrzewania silnika na biegu jałowym zastosowany reaktor katalityczny nie pracuje z powodu niskiej temperatury spalin wynoszącej zaledwie 80°C we wlocie do reaktora pod koniec okresu uruchamiania.
3. W początkowym okresie rozruchu silnika występuje charakterystyczny nagły wzrost stężenia CO i HC. W miarę rozwijania się zapłonów w cylindrach w czasie rozruchu stężenia tych składników maleją. Podczas trudnego i długotrwałego

uruchamiania silnika natężenia CO i HC wykazują bardzo duże wahania determinowane przebiegiem procesu rozruchu.

4. Emisję tlenku węgla i węglowodorów w okresie rozruchu można ograniczyć poprzez wstępne podgrzanie reaktora katalitycznego przed rozruchem za pomocą grzejnika elektrycznego. Przy podgrzaniu powierzchni monolitu metalowego reaktora do 400°C uzyskuje się w temperaturze otoczenia -7°C średnio obniżenie stężenia CO o 80–90%, natomiast węglowodorów o około 70%.
5. Podgrzewanie reaktora katalitycznego w warunkach rozruchu jest skuteczną metodą obniżenia emisji tlenku węgla i węglowodorów, lecz wymaga ona znacznej ilości energii elektrycznej. W przypadku zastosowania grzejnika elektrycznego o mocy 1500 W czas wstępnego podgrzania wlotowej powierzchni monolitu reaktora do temperatury 400°C wynosił 2,5 minuty. Czas ten można skrócić poprzez zwiększenie mocy grzałki elektrycznej.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Brzeżański M. D., *Emisja toksycznych składników spalin w fazie nagrzewania się silnika o zapłonie iskrowym z zastosowaniem akumulatora ciepła*, Monografia 326, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
- [2] Kruczyński S., *Trójfunkcyjne reaktory katalityczne*, Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa — Radom 2004.
- [3] Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J., *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.

## CONVERSION OF HARMFUL EXHAUST GASES COMPONENTS IN THE CATALYTIC CONVERTER DURING A COLD START-UP AND HEATING OF THE COMPRESSION IGNITION ENGINE

### ABSTRACT

This article presents the results of tests of catalytic reduction of carbon oxide and hydrocarbon emission during the self-ignition engine start-up. The tests were performed at the station in the climate chamber at lowered ambient temperatures: -7, -15 and -20°C. A heated three-function

platinum-palladium catalytic reactor with a metal monolith was used in the tests. The test methodology included a measurement of toxic fume concentration upstream and downstream the catalytic reactor at simultaneous measurement of the start-up parameters and measurement of temperatures in selected engine and catalytic reactor locations. Carbon oxide and hydrocarbon emission during the start-up period can be reduced by initial heating up the catalytic reactor before the start-up by means of an electric heater. When heating up the reactor surface up to 400°C at ambient temperature of -7°C, CO concentration can be reduced by 80–90% and the hydrocarbon concentration can be reduced by app. 70% on the average.

Keywords:

engine start up, catalytic reactor.